

# Интеллектуальный сервис диагностики эпилепсии по данным ЭЭГ



ИИ  
А  
2024



**АНДРИКОВ Денис Анатольевич**, доцент, к.т.н.

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Национальный медико-хирургический Центр имени Н.И. Пирогова»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования «Московский Государственный  
технический университет имени Н.Э. Баумана»  
(Национальный Исследовательский Университет)



# 24

направления оказания  
высокотехнологичной  
медицинской помощи,  
включая медицинскую  
реабилитацию



## Врачи, эксперты и технологии мирового уровня

**Федеральный центр медицины катастроф**

**Сотни  
тысяч**

консультаций и  
диагностических  
исследований

**Десятки  
тысяч**

пациентов  
и оперативных  
вмешательств

# 170

профессоров,  
докторов  
и кандидатов  
наук

# 3

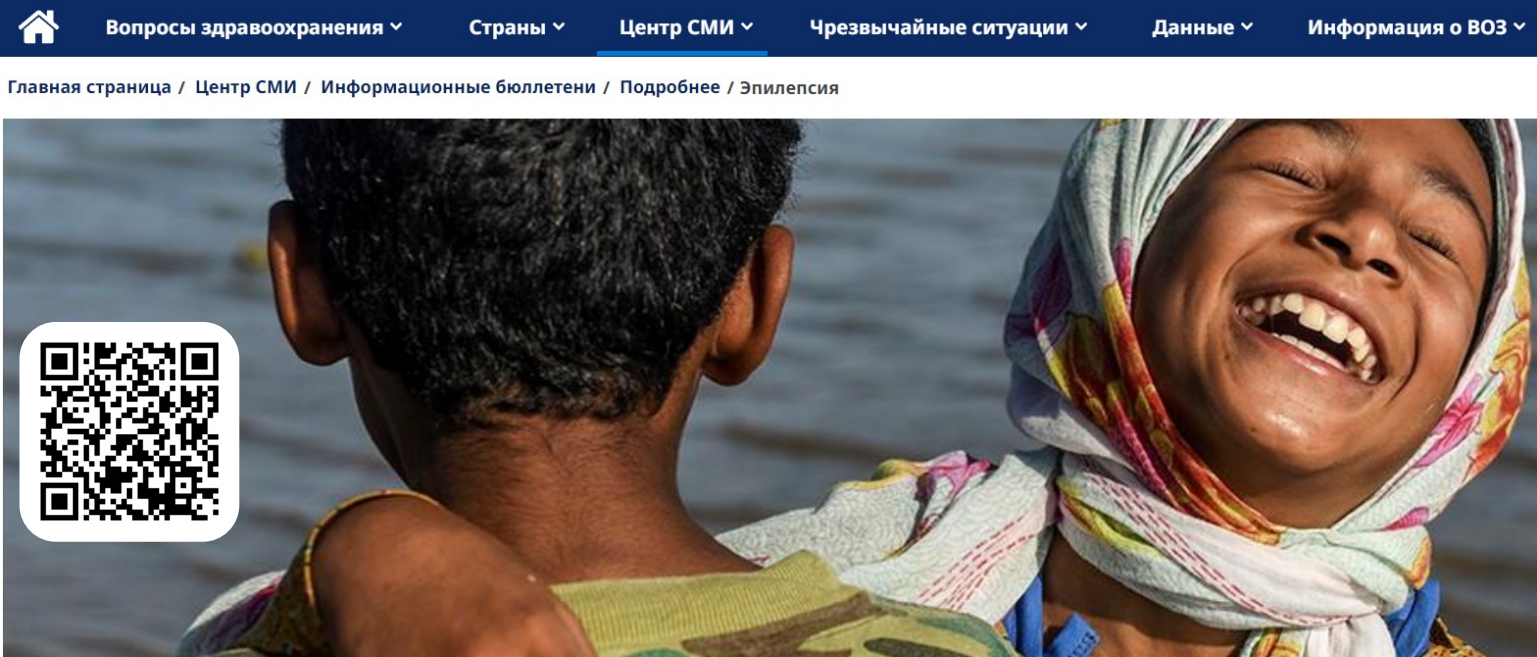
академика  
РАН

Диссертационный  
совет

Институт  
усовершен-  
ствования  
врачей

# ВОЗ: основные факты

**50+**  
миллионов человек  
в мире страдают  
эпилепсией



- Эпилепсия – хроническое неинфекционное заболевание головного мозга, поражающее людей в любом возрасте
- Эпилепсия является одним из самых распространенных неврологических заболеваний в мире
- По оценкам, **до 70%** людей с эпилепсией могут жить без приступов болезни при условии обеспечения надлежащей диагностики и лечения
- Риск преждевременной смерти у больных эпилепсией почти **в три раза** превышает средний показатель по популяции

Своевременная и правильная постановка диагноза позволит начать лечение на ранних этапах развития заболевания



требуется ранняя диагностика эпилепсии, в том числе скрытой, которая протекает без явных внешних признаков судорог и припадков

# Пироговский Центр - единственный на всем постсоветском пространстве эпилептологический центр

# 4 уровня

# 20%

операций в России по хирургическому лечению эпилепсии



Сотрудники Пироговского Центра входят в экспертный совет программы по развитию хирургии эпилепсии в России

# Собственная научная база интеллектуального анализа ЭЭГ для выявления эпилепсии



- Karpov, O.E.; Khoymov, M.S.; Maksimenko, V.A.; Grubov, V.V.; Utyashev, N.; Andrikov, D.A.; Kurkin, S.A.; Hramov, A.E.  
**Evaluation of Unsupervised Anomaly Detection Techniques in Labelling Epileptic Seizures on Human EEG.**  
Appl. Sci. 2023, 13, 5655. <https://doi.org/10.3390/>
- Karpov O.E., Utyashev N.P., Grubov V.V., Maksimenko V.A., Kurkin S.A., Smirnov N.M., Hramov A.E., Shusharina N.N., Andrikov D.A.  
**Extreme value theory inspires explainable machine learning approach for seizure detection**  
// Scientific reports. 2022. V.12 №1. P.11474
- Karpov O.E., Utyashev N., Grubov V.V., Maksimenko V.A., Semerikov V.E., Andrikov D.A., Hramov A.E.  
**Noise amplification precedes extreme epileptic events on human EEG**  
// Physical Review E. 2021. V.103. №2. P.022310
- Andrikov D.A., Kuchin A.S.  
**Development of a prototype of a medical information system for a clinical diagnostic center**  
// Procedia computer science. 14th International Symposium «Intelligent Systems», INTELS 2020. 2021. P.287-292

# Предпосылки

**1** сложность детектирования не только скрытых или молчащих форм эпилепсии, даже у пациентов с доказанной эпилепсией

**2** необходимость длительного дорогостоящего обследования *если приступ не подтвердился, то обследование необходимо повторять*

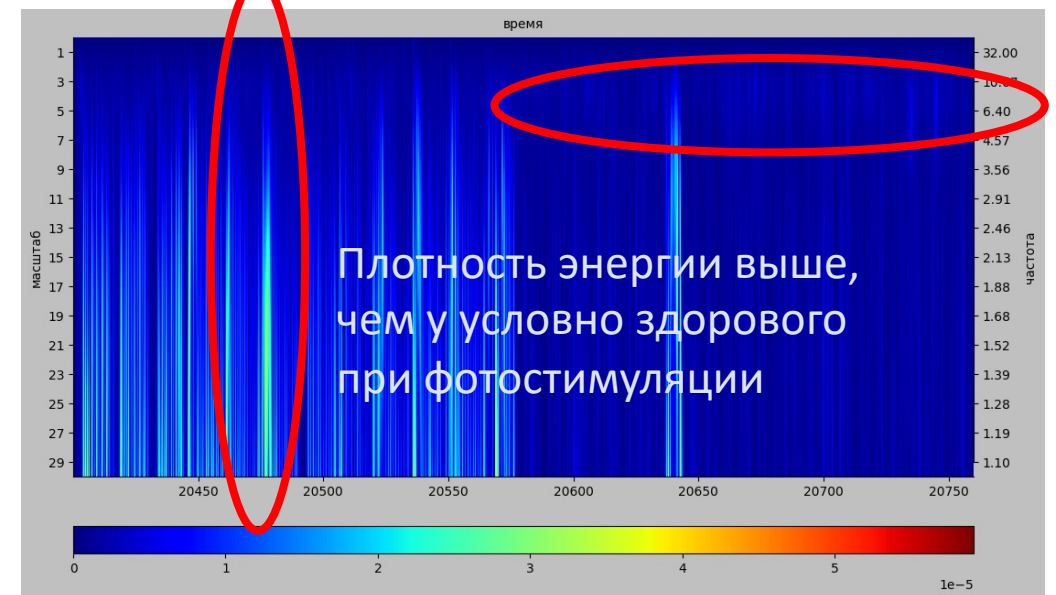
**3** во время обследований в России ежегодно снимаются миллионы рутинных коротких ЭЭГ

**4** научные исследования показывают наличие скрытой эпи-активности даже в межиктальный период

# Гипотеза

Современные методы интеллектуального анализа временных рядов могут обеспечить выявление эпилепсии по результатам рутинных исследований даже в отсутствие эпи-активности

Частотный отклик мозга на фотостимуляцию

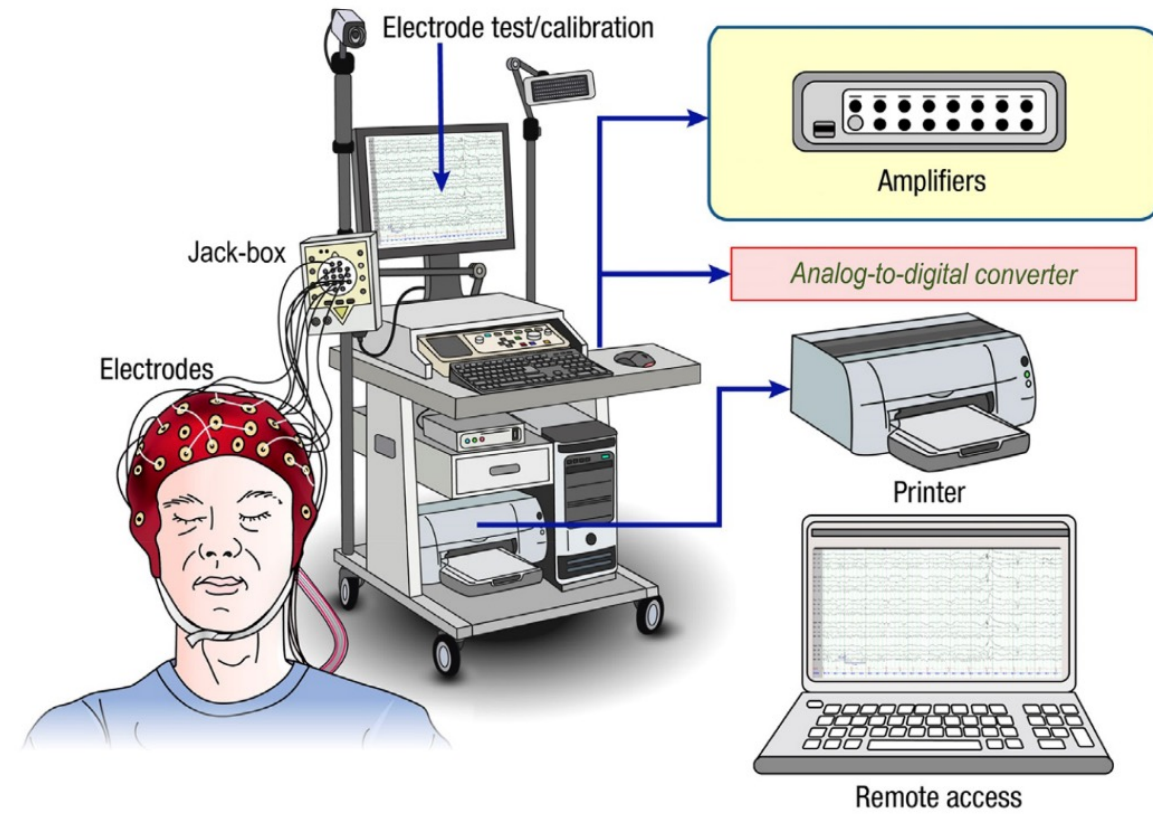


На ЭЭГ «без нагрузки» нет возможности выявления признаков эпилепсии.

# Дизайн исследования

Стандартная процедура «Электроэнцефалография с нагрузочными пробами»:

- Расположение электродов в соответствии с международной системой «10-10»;
- Регистрация базовой электрической активности мозга в режиме пассивного бодрствования (rest-state) в течении одной минуты;
- Фотостимуляция в течении 10 секунд с интервалом 5 секунд (диапазон частот от 1 Гц до 50 Гц).



Feyissa A. M., Tatum W. O. Adult EEG. Handbook of Clinical Neurology, 2019.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ПРОТОКОЛА	
Название исследования:	Апробация метода поиска <b>биомаркеров</b> эпилепсии при ответе на функциональную пробу (ритмическую <b>фотостимуляцию</b> ) по данным электрической активности головного мозга
Организатор исследования	ФГБУ «НМХЦ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России
Форма исследования	Инициативное клиническое исследование. Исследование <b>проспективное</b> и не включает прием препаратов.
Изучаемый (исследуемый) метод лечения	Апробация метода экспресс-диагностики заболевания.
Обоснование исследования:	Традиционные методы диагностики эпилепсии ритмическую <b>фотостимуляцию</b> (РФ) для эпилептического приступа у пациента. Однако, РФ не инициирует приступ. Как следствие, увеличивая нахождения пациента в стационаре, возраст регистрируемых данных электрической активности на врача-эпилептолога. Наша гипотеза заключается в том, что отклик ней мозга на РФ отличается у пациента с эпилепсией человека даже в том случае, когда не происходит приступа. В случае подтверждения гипотезы будет сформированы признаки ( <b>биомаркеров</b> ), характеризующих электроэнцефалографического отклика на РФ у здоровых людей, и разработаны методики их выявления. Разработанные методы будут являться частью автоматизированного места врача-эпилептолога. С в значительной степени усовершенствовать эпилепсии.

**ИНФОРМИРОВАННОЕ СОГЛАСИЕ ДЛЯ ПАЦИЕНТА, КОТОРОМУ ПРЕДЛОЖЕНО УЧАСТИЕ В ИССЛЕДОВАНИИ:**  
 «Апробация метода поиска **биомаркеров** эпилепсии при ответе на функциональную пробу (ритмическую **фотостимуляцию**) по данным электрической активности головного мозга»

Уважаемый пациент!

В рамках научных исследований ФГБУ «НМХЦ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России Вам предлагается дать согласие на участие в исследовательской работе «Апробация метода поиска **биомаркеров** эпилепсии при ответе на функциональную пробу (ритмическую **фотостимуляцию**) по данным электрической активности головного мозга», которое проводится в ФГБУ «НМХЦ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России.

Участие в этом исследовании является добровольным.

Прежде, чем Вы примете решение об участии, Вам необходимо ознакомиться с целями исследования, с тем, как будут использоваться Ваши данные, с процедурами исследования и возможной пользой, риском и неудобствами, связанными с участием в исследовании. Не гордитесь принимать решение. Внимательно прочитайте данный документ. При желании обсудите вопрос участия в исследовании с Вашим лечащим врачом. Задайте врачу-исследователю интересующие Вас вопросы, если что-то осталось для Вас непонятным или Вы хотите получить больше информации. Вы можете взять с собой домой неподписанный экземпляр этого документа, чтобы еще раз его прочитать. Не спешите, подумайте, при желании обсудите с близкими перед тем, как принимать решение. Участие в клиническом исследовании не является частью стандартной медицинской помощи.

**1. ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ ОБ ИССЛЕДОВАНИИ**

Проведение данного научного исследования одобрено Локальным этическим комитетом ФГБУ «НМХЦ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России.

Лекарственные препараты в данном исследовании **не задействованы**.

Выборка №1 (2022 год):

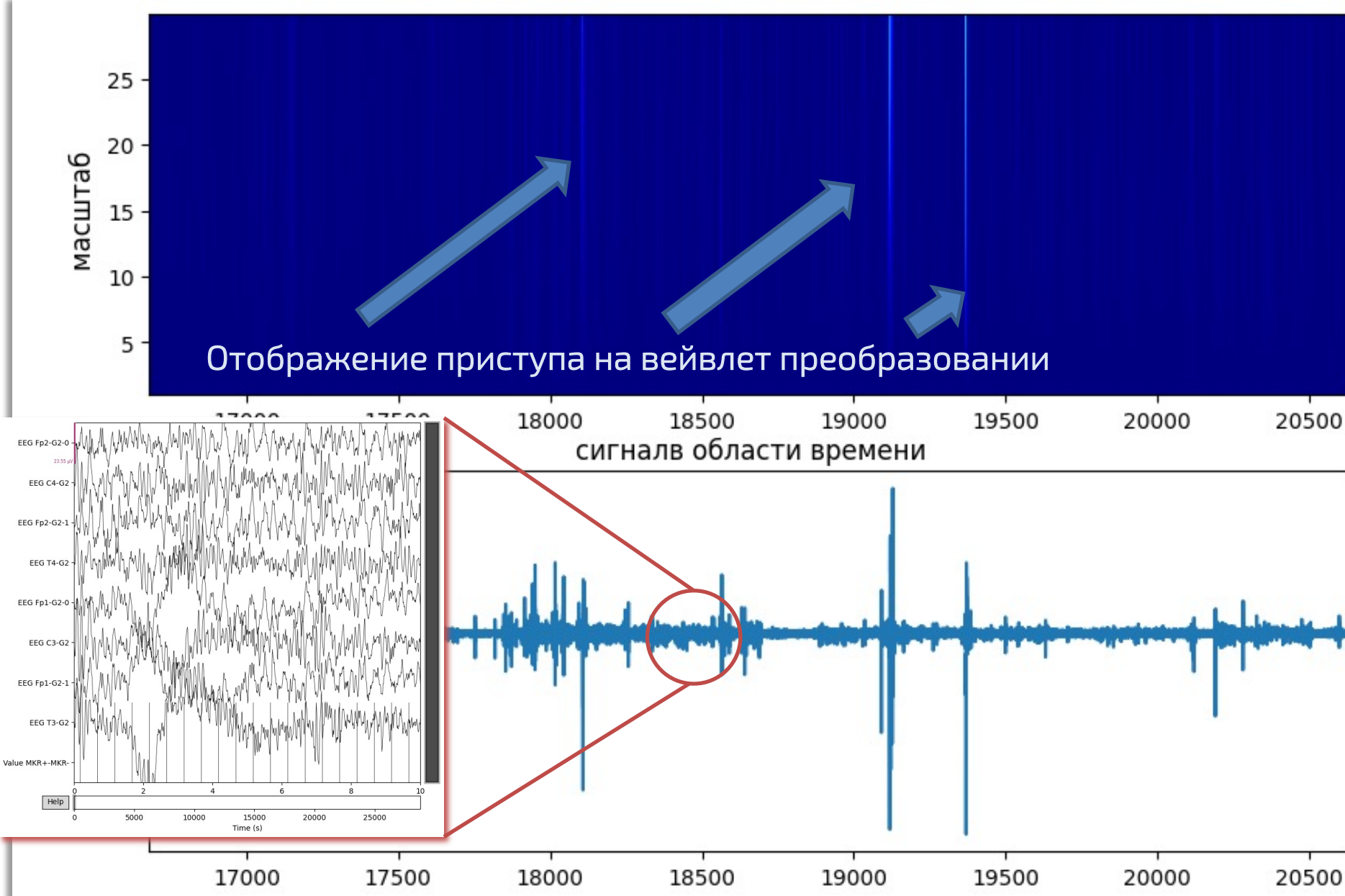
- 24 взрослых пациента человека
- 22 взрослых человека с подтвержденным диагнозом эпилепсии

Выборка №2 (2023 год) – аналогичное исследование.

Итого в выборке 50/50 человек.

# Предобработка ЭЭГ – поиск приступов

«длинная запись» ЭЭГ и поиск приступов (ЭЭГ №85, пациент 1985 г.р.) -



«сырая запись» ЭЭГ  
примерно 1 час

Визуальный поиск  
приступа с помощью  
вейвлет-  
преобразования

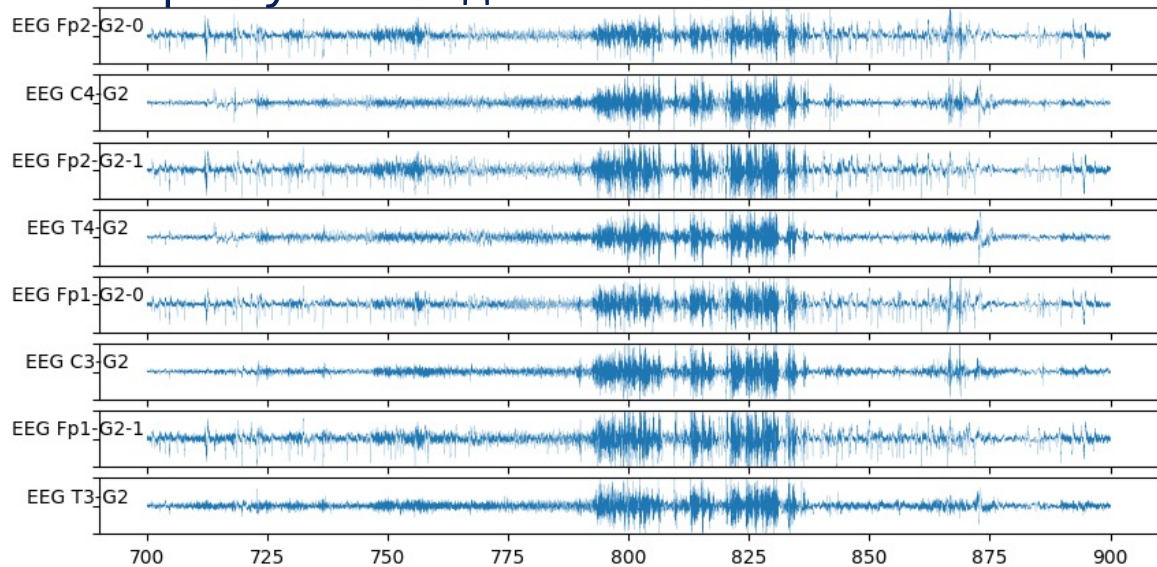
чтобы найти приступ  
на временном  
графике «глазами»  
необходимо почти  
столько же времени,  
сколько сама запись

С помощью вейвлет  
преобразования  
сразу доступны  
точки внимания

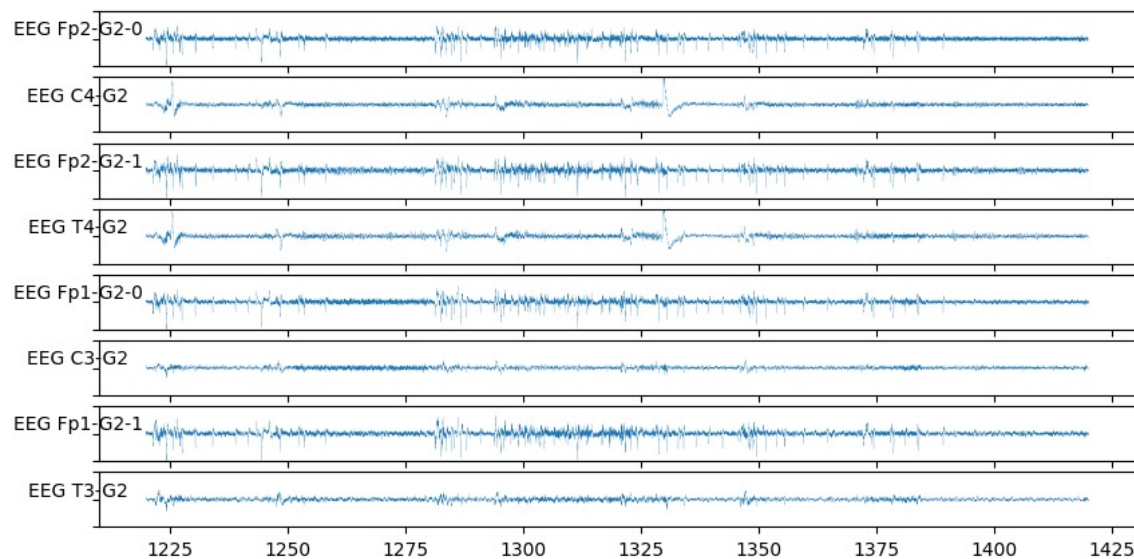


# Примеры интеллектуального анализа

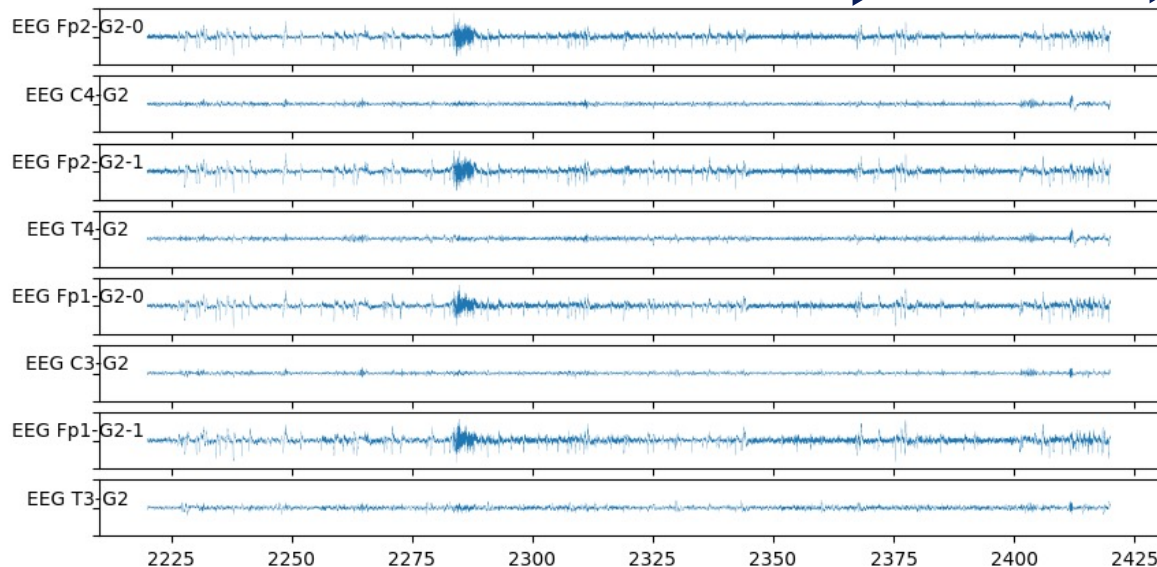
## Приступ выглядит на ЭЭГ так



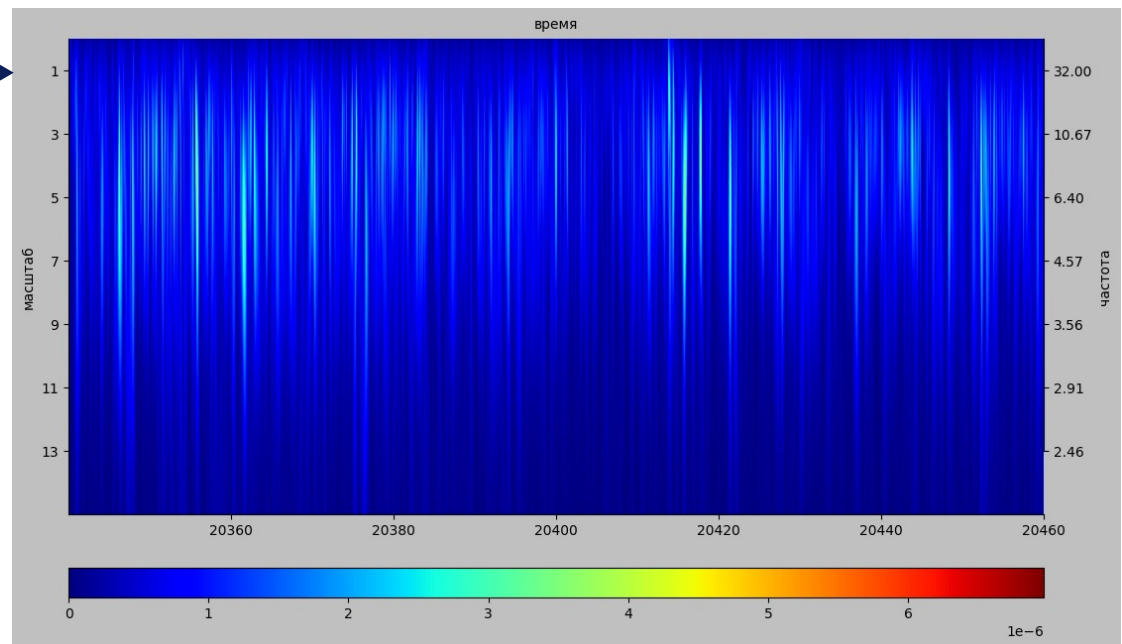
## Рутинная запись ЭЭГ



## Реакция на фотостимуляцию

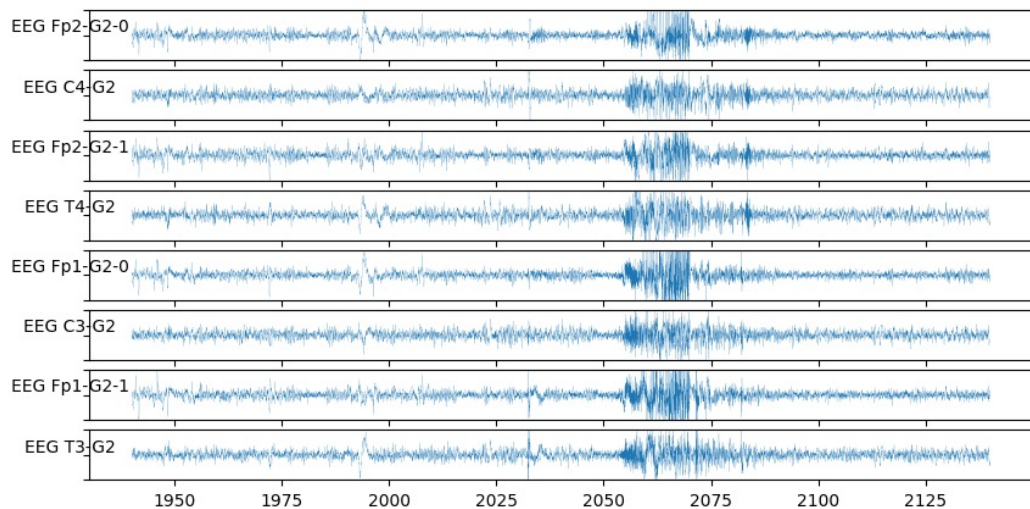


## Вейвлет

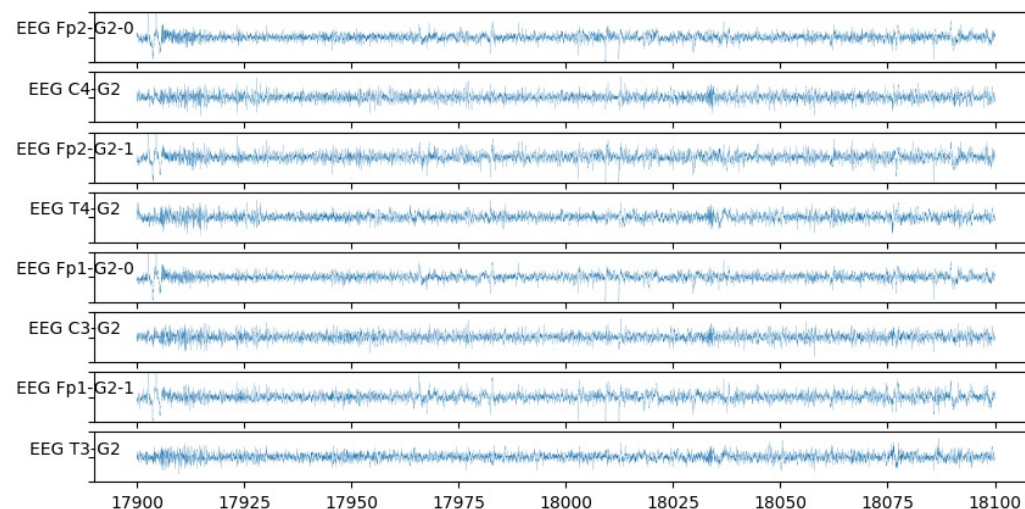


# Примеры интеллектуального анализа

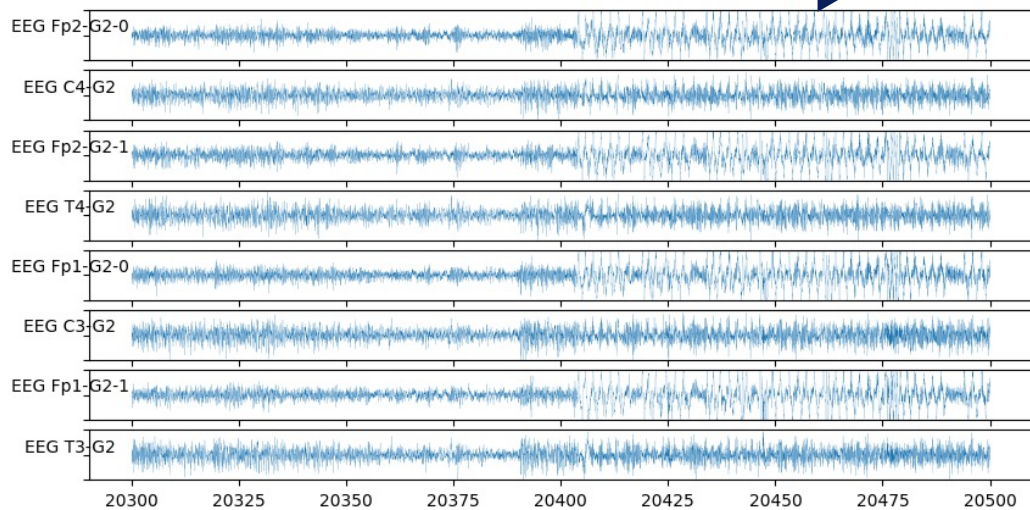
## Приступ выглядит на ЭЭГ так



## Рутинная запись ЭЭГ



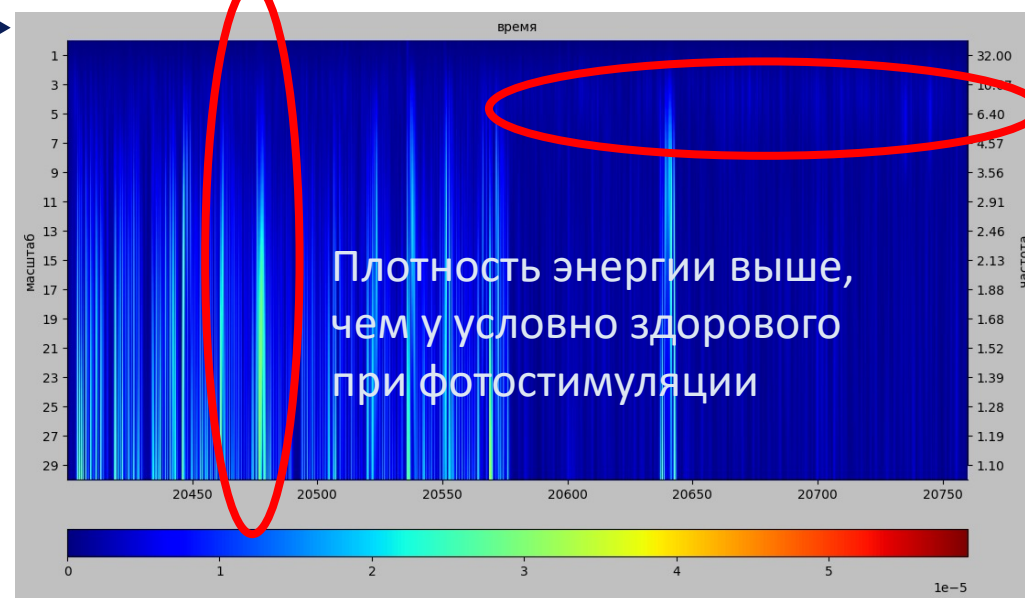
## Реакция на фотостимуляцию



## Вейвлет

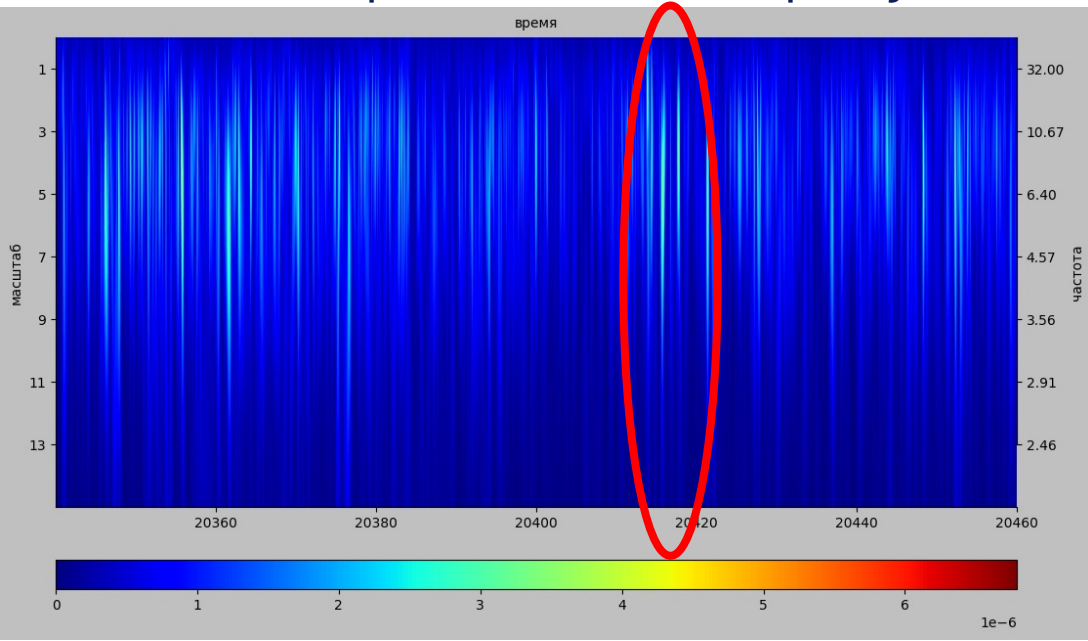


## Частотный отклик мозга



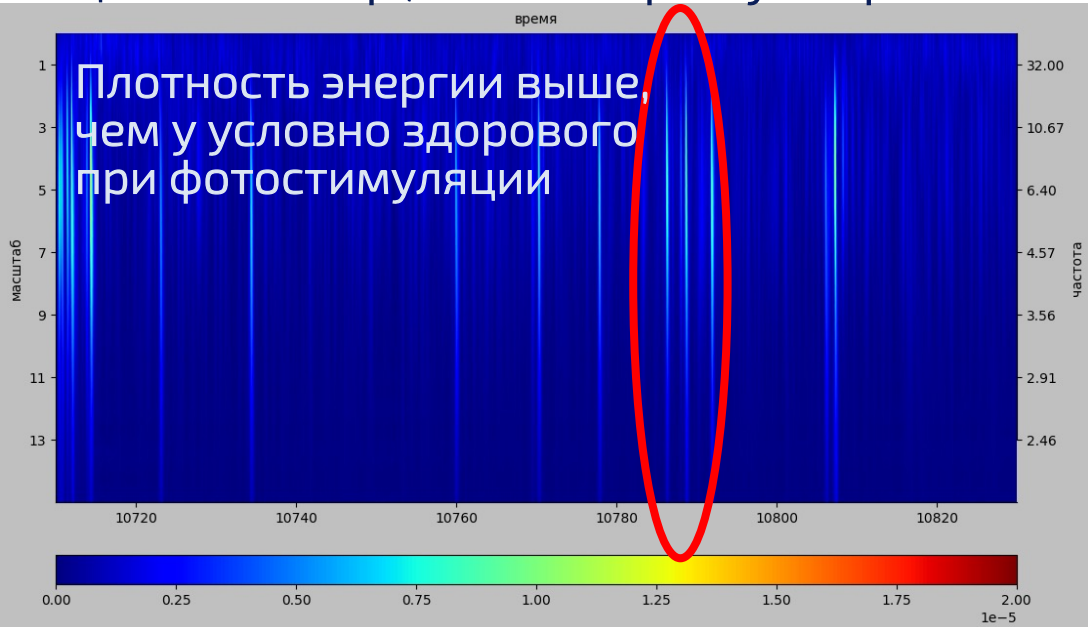
# Сравнение вейвлет преобразования ЭЭГ

Пациент 1985 г.р., на записи был приступ



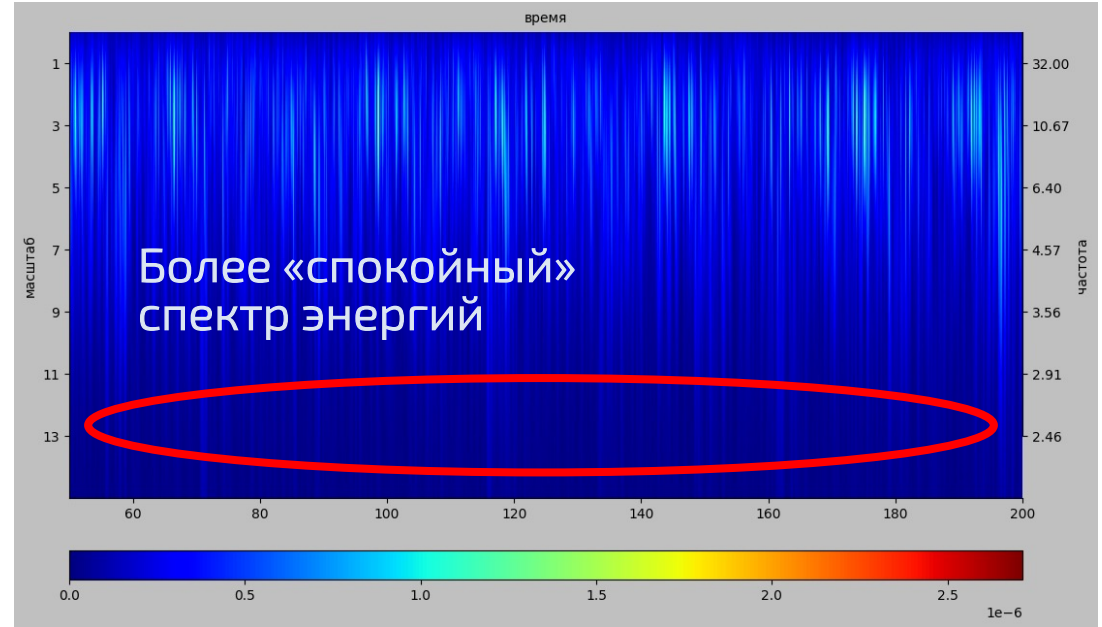
Спектральная плотность энергии, которая визуально отображается на вейвлет-преобразовании показывает возможность создания СИИ для СППВР для быстрой детекции предрасположенности к эпилепсии

Пациент 2001 г.р., не было приступа при записи ЭЭГ



Плотность энергии выше, чем у условно здорового при фотостимуляции

Условно здоровый 1982 г.р.



Более «спокойный» спектр энергий

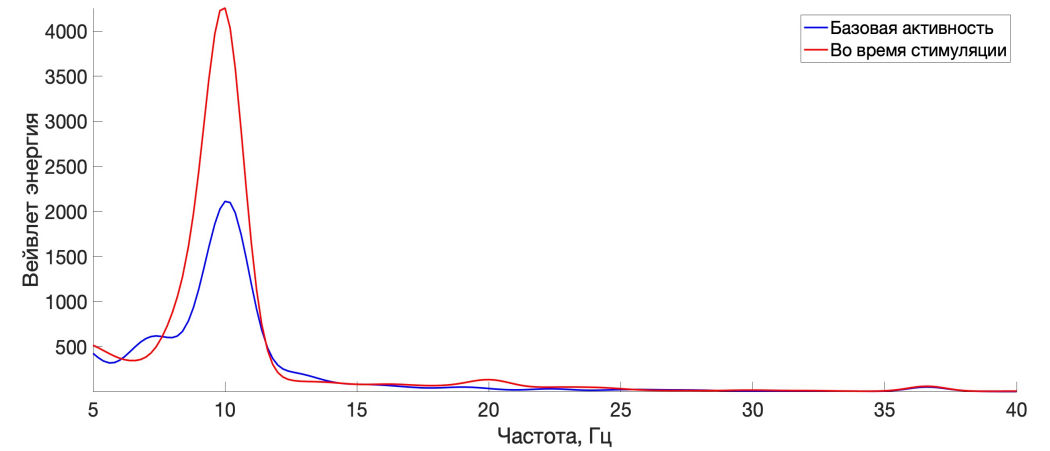
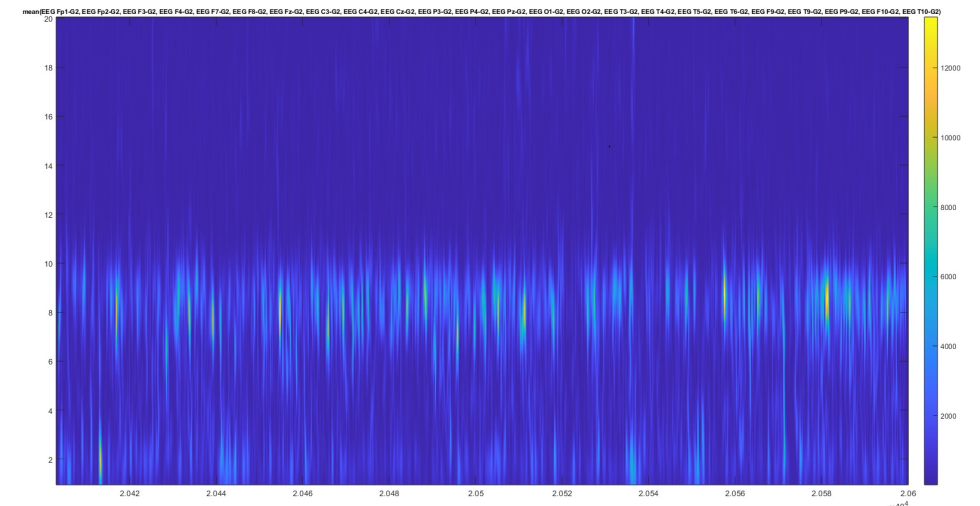
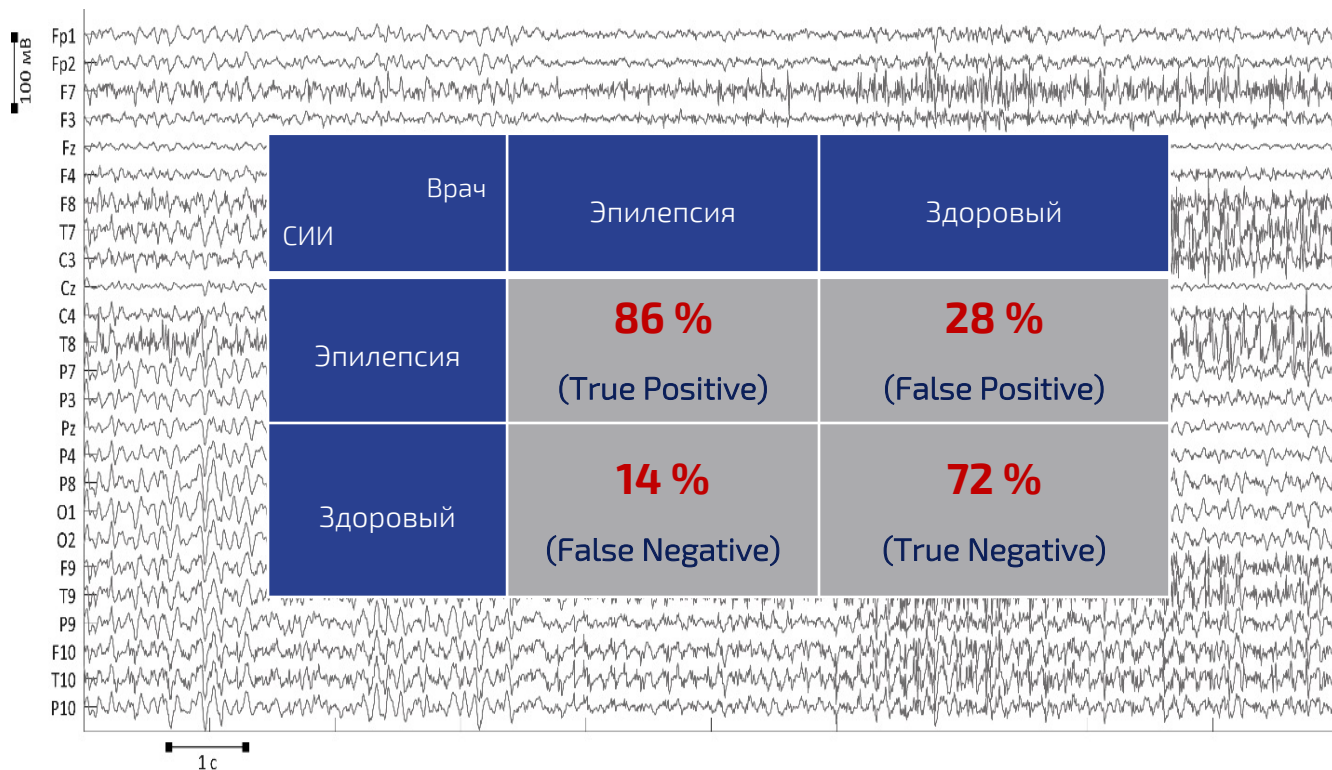
# Математическое описание

## 1) Удаление артефактов

- Анализ независимых компонент – Independent Component Analysis (ICA)
- Полосовая фильтрация (фильтр Баттерворта 4 порядка)

## 2) Вейвлет анализ

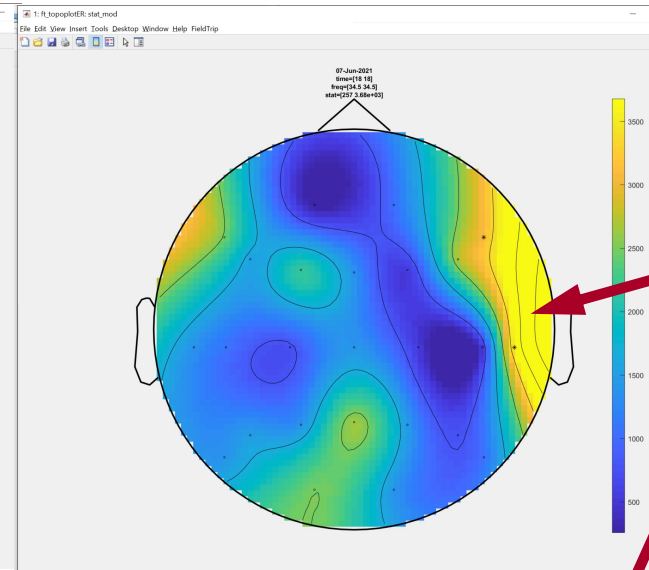
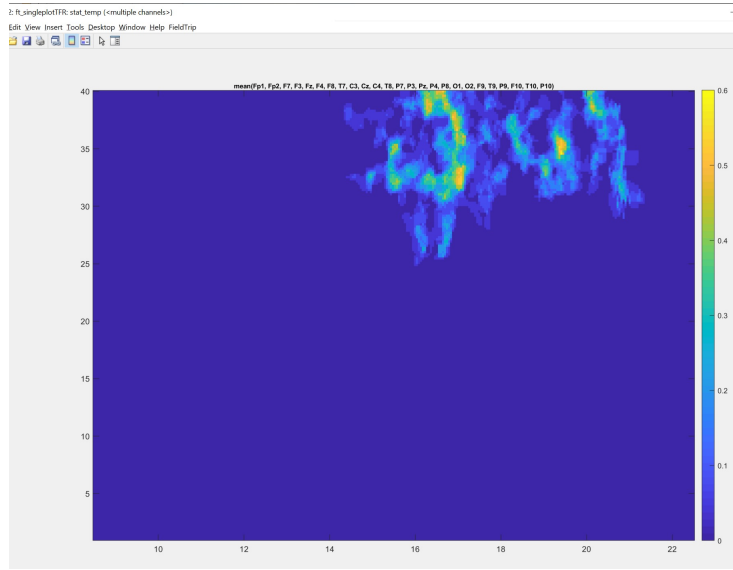
- Вейвлет преобразование
- Нормировка на базовый уровень активности («baseline correction»)



# Результаты исследования – выделение биомаркеров

Пациенты с фокусом в правом полушарии

$F_s=10$  Hz,  
 $CA=0.05$ ,  
 $rand=2000$ ,  
 $df=0.2$ ,  $dt=0.05$

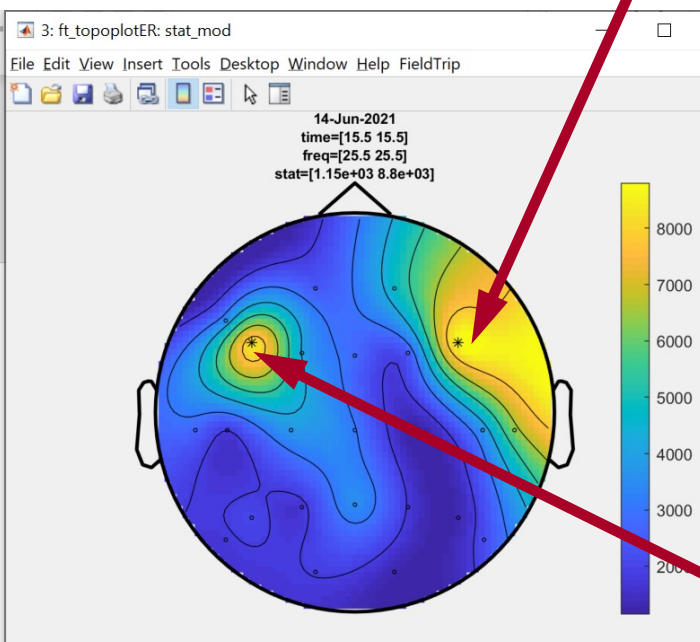
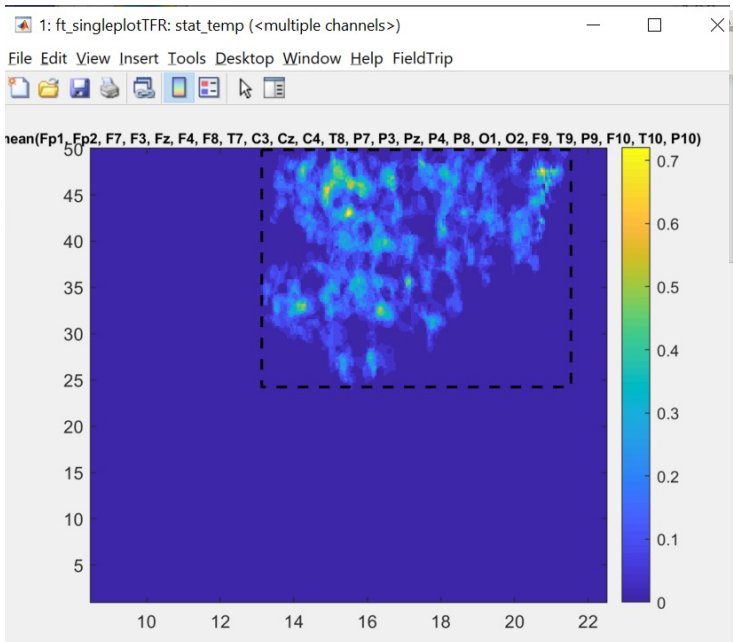


1 pos cluster, Prob ~ 0.05  
29-40 Hz, 14.5-21.5 s

Кластер в правом полушарии

Пациенты с фокусом в левом полушарии

$F_s=10$  Hz,  
 $CA=0.05$ ,  
 $rand=2000$ ,  
 $df=0.2$ ,  $dt=0.05$



2 pos clusters, Prob ~ 0.058  
24-50 Hz, 13-21.5 s

Кластер в левом полушарии

Общий кластер для обоих типов

# Построение классификатора (SVM): результаты по комбинированной группе тестов на левое и правое полушарие

Данные для обучения	Данные для теста	Пространство признаков	Параметры обучения	FP	FN
Группа 2, правый (18 subj) and группа здоровых (24 subj)	Та же группа, пермутационный тест	Fs=10 Hz; all signif. triplets; wavelet freq. band: 1-50 Hz	SVM, Training/Testing: 70/30 % Test Permutations - 10000	5.7%	3.3%
Группа 2, левый (18 subj) and группа здоровых (24 subj)	Та же группа, пермутационный тест	Fs=10 Hz; all signif. triplets; wavelet freq. band: 1-50 Hz	SVM, Training/Testing: 70/30 % Test Permutations - 10000	11.1%	8.9%
Epil_new R (18 subj) and H	Epil_new L (18 subj) and H	Fs=10 Hz; all signif. triplets;	Training/Testing: 100/100	0%	27.3%
Epil_new L (18 subj) and H	Epil_new R (18 subj) and H	Fs=10 Hz; all signif. triplets;	Training/Testing: 100/100	0%	9%
Epil_new R (18 subj) and H	Epil_Old (22 subj) and H	Fs=10 Hz; all signif. triplets;	Training/Testing: 100/100	0%	18%
Epil_new L (18 subj) and H	Epil_Old (22 subj) and H	Fs=10 Hz; all signif. triplets;	Training/Testing: 100/100	0%	13.6%

Объединение результатов 2 последних классификаторов для Epil\_Old дает FN=9%

Объединение 2 классификаторов (SVM\_L и SVM\_R) для полной выборки (Epil\_new+Epil\_Old) дает FN=8.6% (5subj из 58), FP=0

# Проект в репозитории

wavelets cwt dwt example EEG ECG.ipynb  
File Edit View Insert Runtime Tools Help

+ Code + Text Copy to Drive

Программа для обработки нестационарных сигналов с примерами ЭЭГ и ЭКГ

Примеры научных статей о применении wavelet в биоинформатике: Грубов В. В., Овчинник Храмов А. Е. Вейвлетный анализ сонных веретен на ЭЭГ и разработка метода их автоматического обнаружения

wavelets cwt dwt example EEG ECG.ipynb  
File Edit View Insert Runtime Tools Help Cannot save changes

+ Code + Text Copy to Drive

```
[ ] eeg_data, eeg_times = data_from_raw_edf.get_data(return_times=True)
print('число отчетов во временном ряду:', len(eeg_times))
# устанавливаем диапазон для обработки данных
t_index_begin = 0
t_index_end = 1000
t = eeg_data[t_index_begin:t_index_end]
# значение времени = конец сигнала
T = t[-1]
# число элементов во временном ряду
N = len(t)
# выгружаем в выходную переменную, например, первый (в Питоне он нулевой индекс имеет) канал
y = eeg_data[6, t_index_begin:t_index_end]
```

число отчетов во временном ряду: 1040

## > Обработка сигнала: спектр Фурье и Вейвлет-преобразование

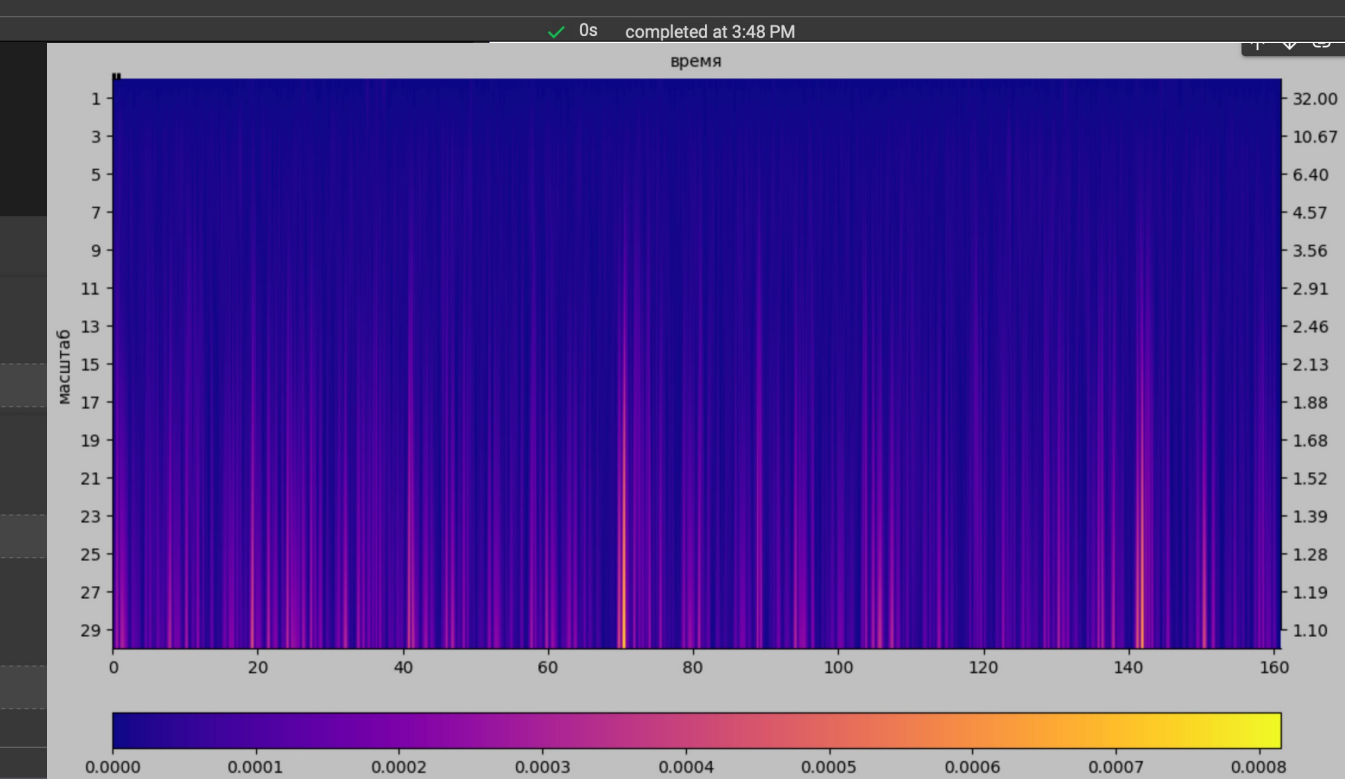
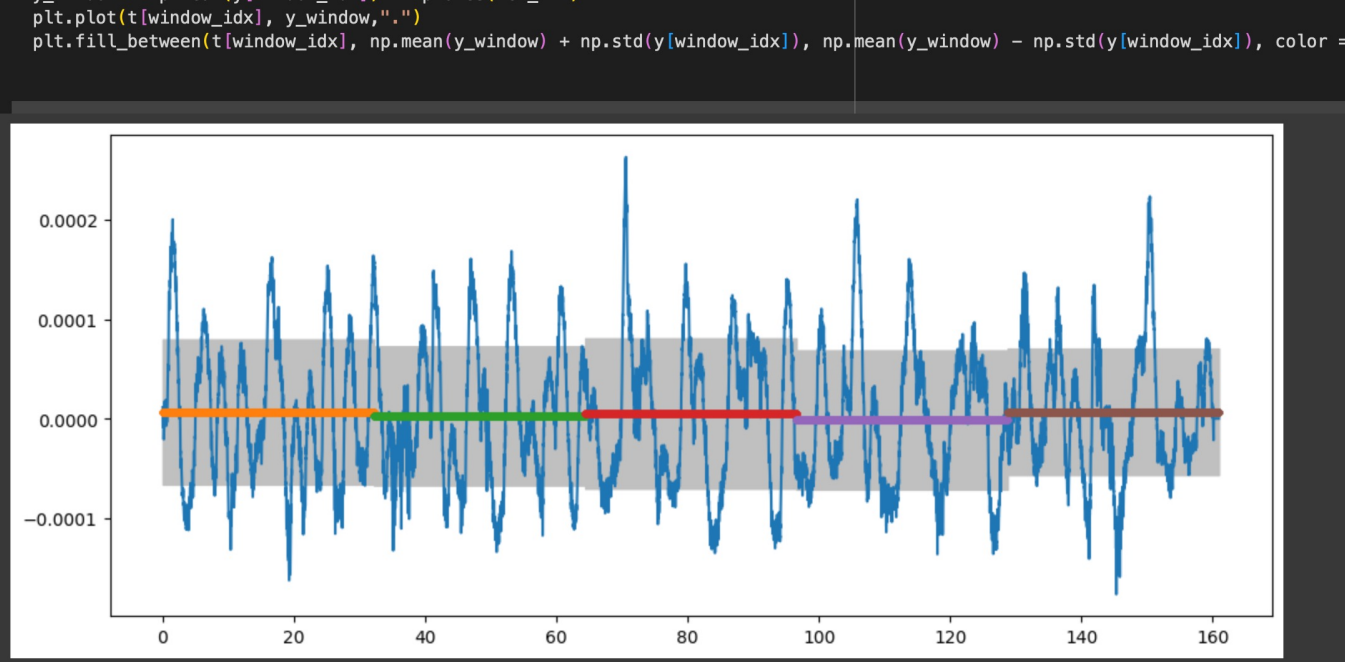
↳ 12 cells hidden

## > Пример фильтрации сигналов

↳ 4 cells hidden

## > Характеристики сигнала

↳ 3 cells hidden



1m 3s completed at 3:34 PM

# Сферы практического применения экспресс диагностики \*

1

## Сотрудники транспорта

- Экипажи воздушных судов
- Ж/Д транспорт (РЖД, метрополитены)
- Судоходство

2

## Спортивный экстрим и туризм (туристические и event агентства/клубы, частная авиация)

- Водные виды спорта (в т.ч. дайвинг с инструктором туристический)
- Лётные курсы/развлечения и парашютный спорт
- Альпинизм и горный сплав
- Скоростные виды спорта, авторалли, авто-мото клубы
- Контактные виды и единоборства (бокс, ММА и пр.)

3

## Спортивные школы и ВУЗы (спортивная медицина)

4

## ЧОП, охранные агентства, телохранители и пр.

5

## Государственные силовые структуры, армия

\*

Необходимо РУ на медизделие для выдачи официальных заключений в составе медкомиссий



# Направления развития

1

Повышение метрик сервиса за счет сбора дополнительных деперсонифицированных данных

2

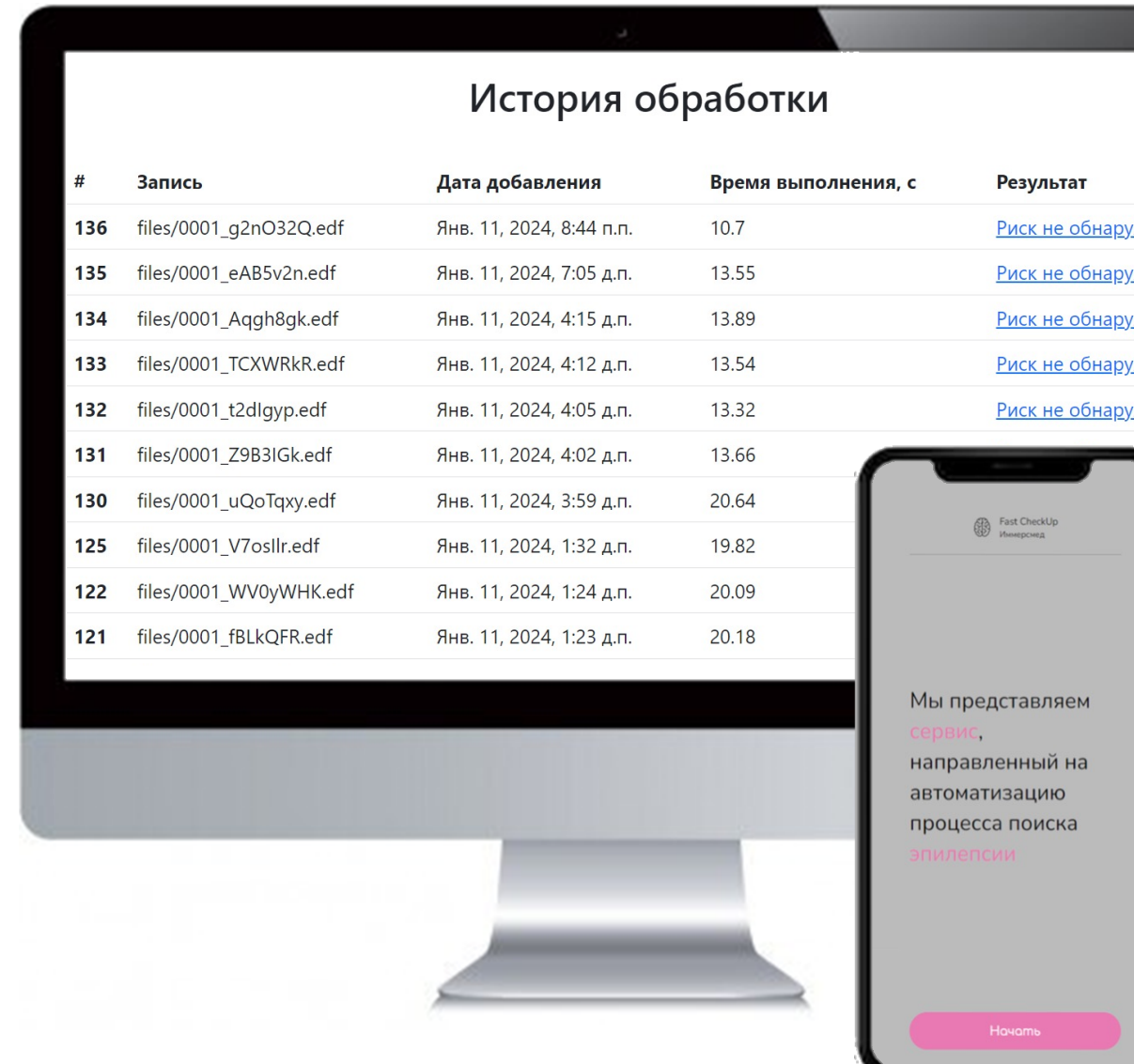
Разработка классификатора, который будет различать правофокальную эпилепсию от левофокальной

3

Доработка прототипа сервиса с технологическим партнером



Присоединяйтесь!



# Периодические издания

Вестник МНХЦ  
им Н.И. Пирогова



Врач и ИТ

# Монографии



- Цифровое здравоохранение в цифровом обществе
- Автоматизированное проектирование медицинских технологических процессов
- Цифровое здравоохранение в цифровом обществе  
Экосистема и кластер
- Стандартизация в электронном здравоохранении
- Автоматизация процессов, цифровые и информационные технологии в управлении и клинической практике лечебного учреждения